Прогресс электроники стремителен, и на глазах одного поколения людей сменяется несколько поколений электронной техники. Предметы обихода все больше напоминают магические предметы из народных сказок. Но пройдет небольшое время, и эти волшебные вещи нам придется чинить! Каких чудес электроники нам ожидать, какова будет их элементная база, какие принципы обработки и отображения информации будут лежать в их основе, – об этом Вы узнаете из новой рубрики «Современные технологии».

ПРОЕКЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Виктор Беляев (Москва)

От экрана во всю стену домашнего кинотеатра до гигантской видеостены концертного зала – вот диапазон размеров изображения сегодняшних проекционных систем. Предлагаемая Вашему вниманию статья является обзором современных технологий, используемых в проекционных устройствах.

Проекционные устройства на основе электронных дисплеев занимают все большее место в нашей жизни: в квартирах – для домашнего кинотеатра, в офисах – для обсуждения текущих работ и для презентаций; в самолетах – для показа видеофильмов; в диспетчерских пунктах энергосистем и железных дорог, в кинотеатрах и т.д.

Проекционные системы подразделяются на тыльные, в которых изображение проецируется сзади на просветный экран, и фронтальные, в которых проектор располагается перед экраном – как в кинотеатре. Изображение может формироваться с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ, CRT), жидкокристаллического (ЖК, LC) оптического модулятора или микроэлектромеханической системы (МЭМС, MEMS) (см. рис. 1).

СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХЪЯРКИХ И ЛАЗЕРНЫХ CRT

В домашних кинотеатрах наиболее распространенными пока являются тыльные проекторы, в которых изображение, сформированное на экране специальных проекционных CRT, при помощи сложной оптической системы проецируется на просветный экран. Проекционные системы на основе CRT имеют большие габариты и вес, высокий уровень электромагнитных излучений и сравнительно небольшую яркость изображения. Поэтому они повсеместно вытесняются системами на основе плоскопанельных дисплеев: жидкокристаллических, плазменных и микрозеркальных.

На сегодняшний день среди таких устройств наибольший световой поток создают лазерные CRT (квантоскопы), в которых применяются монокристаллические (лазерные) люминофоры. Излучающая часть экрана представляет собой монокристаллическую пленку толщиной 15...20 мкм, закрепленную на сапфировой подложке, обрамленной кольцевым теплоотводом. Оптический резонатор образован двумя отражающими покрытиями, нанесенными на поверхности пленки. Первое покрытие, со стороны электронной пушки, – металлическое, не пропускающее света, второе, с внешней стороны CRT, – многослойное интерференционное, частично пропускающее свет. Длина волны излучения определяется шириной запрещенной зоны люминофора и регулируется изменением его состава. Квантоскопы до сих пор остаются пусть и выдающейся, но экспериментальной разработкой, которая проводится в компании НИИ «Платан», АР «Технологические исследования» и ФИАН и еще не скоро выйдет на рынок.

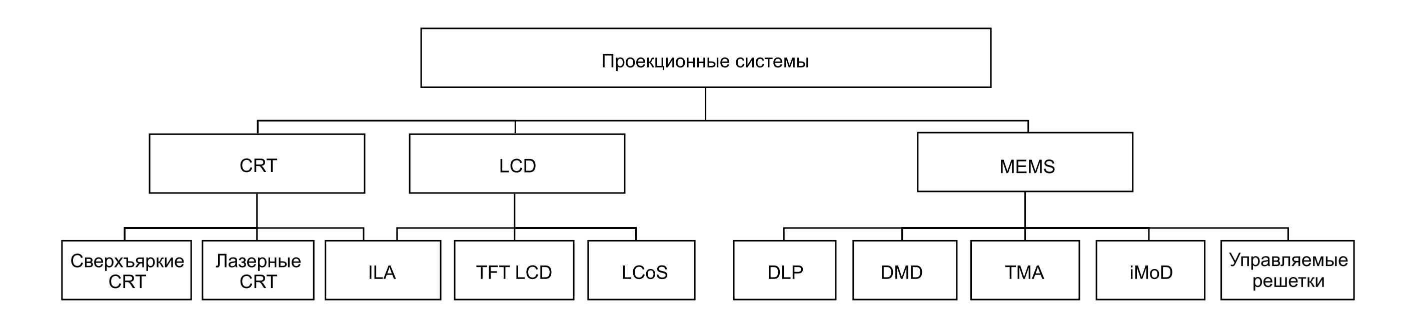


Рис. 1. Классификация проекционных устройств

СИСТЕМЫ НА ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

Матрицы тонкопленочных транзисторов

Действие систем отображения на основе электрооптических эффектов в жидких кристаллах (LC – Liquid Crystal) основано на их переориентации под действием приложенного к устройству электрического поля и возникающему вследствие этого изменению двулучепреломления. Для визуализации этого изменения используются поляризаторы, фазовые пластины и другие оптические элементы. Адресуемый на активную матрицу тонкопленочных транзисторов (TFT – Thin Film Transistor) электрический сигнал перезаряжает TFT, и вследствие этого изменяется напряжение смещения на LC-слое. Оптическая схема формирования полноцветного изображения с помощью LCD TFT показана на рис. 2.

Рассмотрим технические параметры различных светоклапанных проекционных дисплеев на основе активно-матричных жидкокристаллических дисплеев (LCD – Liquid Crystal Display). Наиболее совершенными и технологичными являются LCD TFT на основе высокотемпературного поликремния. При размерах LC-модуля 23...46 мм и SXGA-разрешении 1280 × 1024 высокое апертурное отношение (отношение площади открытой части пиксела к его полной площади), достигающее сейчас 70%, может быть увеличено за счет встроенного микролинзового устройства. При использовании TFT-модуля размером 46 мм и металлогалогенной лампы мощностью 400 Вт световой поток составляет 2200 лм, что позволяет получить размер насыщенного изображения до 5 м по диагонали.

Для получения изображения размером 10 м и более в основном используются LCD TFT из аморфного кремния (a-Si) размером 147...162 мм, с апертурным отношением 50...55%. Будучи снабженными металлогалогенной лампой мощностью 1800 Вт, оптическим интегратором и предполяризатором, они обеспечивают световой поток до 8000 лм. Наиболее высокое апертурное отношение (93%) достигнуто в отражательных устройствах с использованием КМОП-технологии: размер панели составляет 23 мм, разрешение – более 2048 × 2048 пикселов при шаге пиксела 17 мкм.

Технология ЖК-на-кремнии

Подобно тому, как CRT постепенно вытесняются LCD, а те, в свою очередь, цифровыми световыми процессорами (о них речь ниже), последним существенную конкуренцию создают микродисплеи с технологией ЖК-на-кремнии (LCoS), имеющие существенно лучшую инетеграцию с полупроводниковыми управляющими микросхемами. В 2001 г. было заключено соглашение о разработке и производстве устройств на основе этой технологии между американской компанией Spatial Light, являющейся разработчиком LCoS-дисплеев, и японской Fuji Photo Optical Co., Ltd., производящей светоизлучающие устройства (light engines), в состав которых входят такие микродисплеи. Фирма Spatial Light выпускает микродисплеи с размером по диагонали 18...24,6 мм и разрешением до 1280 × 1024 пикселов, реализованные на основе электрооптических эффектов в гомеотропно (вертикально) ориентированных жидких кристаллах. Аналогичные микродисплеи с XGA-разрешением и диагональю 18 мм для проекционных систем высокого разрешения выпускает фирма Aurora Systems, расположенная в Кремниевой долине.

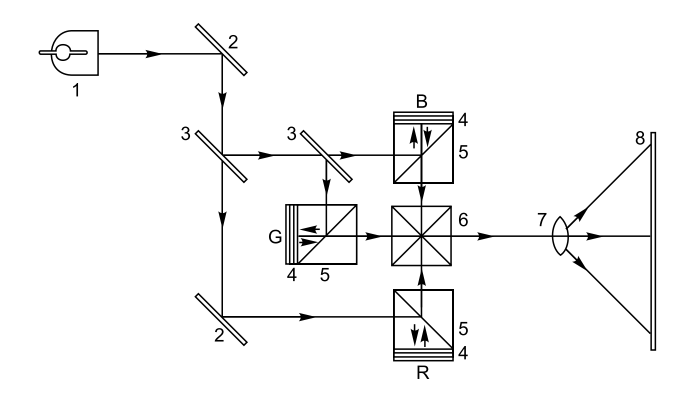


Рис. 2. Проекционная система с тремя LCD.
1 – источник света, 2 – зеркала, 3 – дихроичные (селективные по спектру) зеркала, 4 – LCD для трех разных цветовых каналов, 5 – дихроичные призмы, 6 – X-призма, 7 – проекционный объектив, 8 – проекционный экран

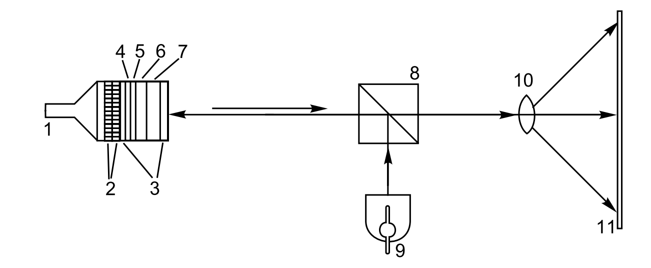


Рис. 3. Проекционная система с усилителем яркости (ILA).
1 – малогабаритная CRT, 2...7 – пространственно-временной модулятор света (2 – волоконно-оптические пластины, 3 – прозрачные подложки, 4 – фотопроводник, 5 – слой диэлектрика и светоблокирующего материала, 6 – интерференционное диэлектрическое зеркало, 7 – ориентированный LC-слой), 8 – светоделительный элемент, 9 – источник света, 10 – проекционный объектив, 11 – проекционный экран

В то же время, этой технологии надо преодолеть ряд трудностей для завоевания доминирующей позиции на рынке. При конструировании и эксплуатации проекционной аппаратуры на основе LCD, например LCoS, необходимо учитывать распределение температур внутри устройства. Оптический узел состоит из источника света (металлгалогенной лампы),

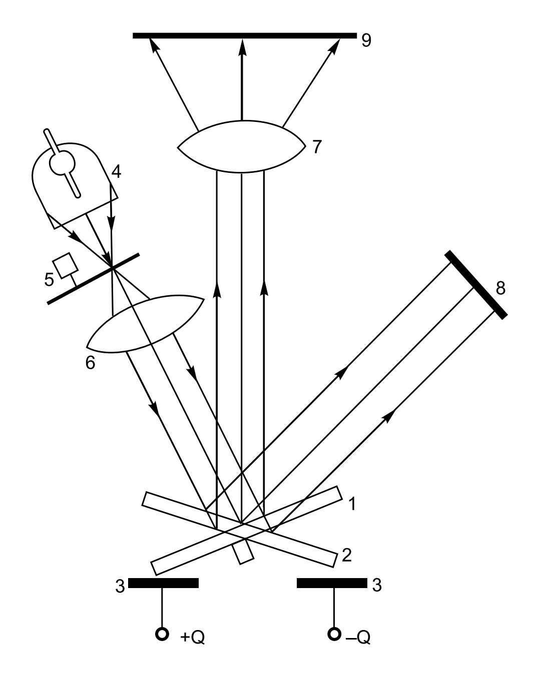


Рис. 4. Проекционная система на основе микрозеркального устройства (DLP).
1 – микрозеркало в положении «включено», 2 – микрозеркало в положении «выключено», 3 – заряженная поверхность ТПТ, 4 – источник света, 5 – цветовое колесо, 6 – объектив, 7 – проекционный объектив, 8 – поверхность, поглощающая свет, 9 – проекционный экран

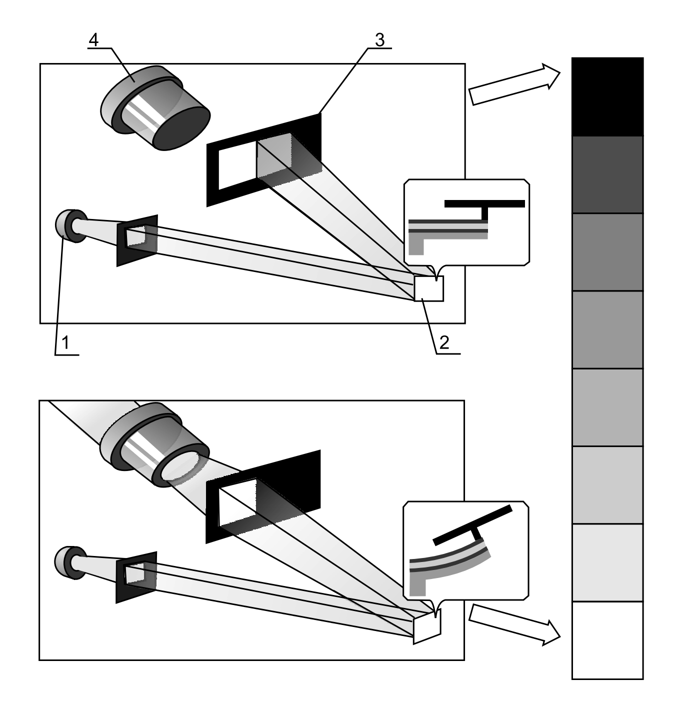


Рис. 5. Проекционная система на основе микрозеркального устройства типа ТМА.
1 – источник света, 2 – элемент ТМА, 3 – рамка, 4 – проекционный объектив

инфракрасного (ИК) фильтра, интеграторов света, поляризационного расщепителя света (ПРС), поляризационной полуволновой пластины, второго ПРС, дихроичной призмы и зеркала. Температура отдельных элементов конструкции достигает 180...190°С (ПРС и второй интегратор), 346°С (первый интегратор) и даже 453°С в ИК-фильтре, причем в каждом узле наблюдается значительный градиент температуры. Кварцевая трубка лампы разогрета до 1187°С, в то время как ее рефлектор при помощи конвекции охлаждается до 43°С. Эффект термического двулучепреломления вызывает деполяризацию светового пучка и, следовательно, ухудшение качества изображения. Из-за неоднородных термических свойств могут возникать механические напряжения, снижающие надежность устройства.

ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Разновидностью проекторов, позволяющих создать большое по размеру изображение с разрешением до 1800 × 1280 пикселов, являются устройства типа ILA (Image Light Amplifier – усилитель яркости изображения).

Принцип действия ILA основан на сочетании CRT- и LCD-технологий (рис. 3). В усилителе яркости изображение, создаваемое CRT, попадает на слой фотопроводника (ФП), у которого изменяется сопротивление или емкость, благодаря чему приложенное напряжение перераспределяется между ФП и жидкокристаллическим слоем, что и формирует на нем изображение с высоким разрешением. От дуговой лампы на LC-слой поступает свет, который отражается от расположенного позади слоя зеркала, что и обеспечивает повышенную яркость изображения. Путем облучения этого LC-слоя потоком света от поляризационного разделителя формируется «считанное» изображение, которое проецируется на экран. Три таких устройства составляют основу ILA-проекторов, обеспечивающих проецирование изображений кинематографического качества. Проекторы ILA способны работать как с сигналами телевидения высокой четкости (HDTV), так и компьютерной графики высокого разрешения с частотой горизонтальной развертки до 90 кГц.

МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Микрозеркальные технологии

В других типах управляемых светоклапанных устройств используются микроэлектромеханические системы (MEMS – Microelectromechanical Systems). В каждую ячейку многоэлементной активной матрицы вмонтирована микропластина, которая изменяет свое положение при перезарядке TFT. На поверхности такой пластины нанесено отражающее покрытие, поэтому под действием приложенного управляющего сигнала происходит изменение направления распространения светового пучка (рис. 4). При наличии большого количества таких ячеек, имеющих малый размер (около 10 мкм), и сложной схемы коммутации можно формировать динамические изменяющиеся изображения с большим разрешением (свыше 800 × 600). Так построены наиболее рас-

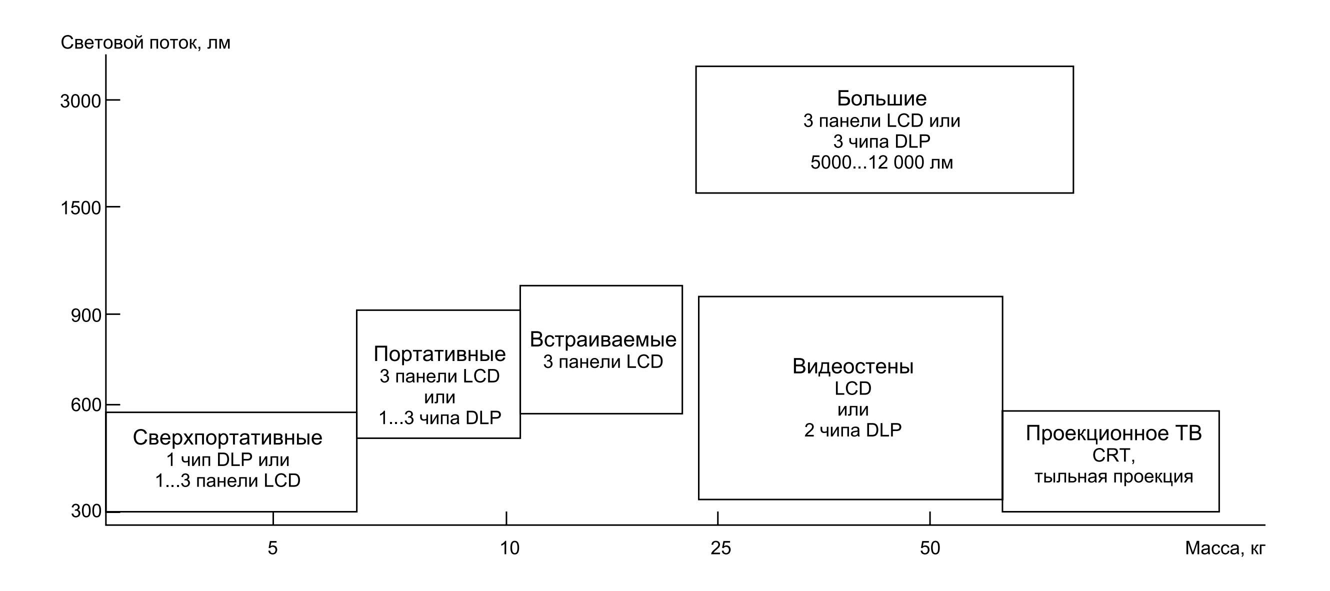


Рис. 6. Распределение проекционных систем и устройств по весу и световому потоку. LCD – жидкокристаллические дисплеи, DLP – цифровые световые проекторы

пространенные проекторы с MEMS, а именно DLP (Digital Light Processor – цифровой световой процессор) и DMD (Digital Micromirror Device – цифровой микрозеркальный прибор) компании Texas Instruments, США. При использовании компактной дуговой ксеноновой лампы в таких устройствах с разрешением до 1280 × 1024 элементов достигается световой поток 10 000 лм.

Разновидностью MEMS является тонкопленочная микрозеркальная матрица (TMA – Thin-film Micromirror Array), разработанная компанией Daewoo Electronics, Корея. По сравнению с DLP и DMD, управляющее напряжение, приложенное к элементу изображения, обеспечивает не два положения микрозеркала, а непрерывный набор углов его поворота в диапазоне 0...10° (рис. 5). Световой пучок, отклоненный зеркалом, проходит через рамку, у которой одна половина открыта, а другая закрыта. Таким образом, в зависимости от напряжения на пикселе, реализуется весь набор градаций яркости. Световая эффективность TMA, составляющая 22%, в настоящее время является самой высокой среди проекционных устройств светоклапанного типа. При использовании ксеноновой лампы мощностью 1 кВт и трех TMA уже реализован проектор со световым потоком 5400 лм.

Управляемая решетка и интерференционный модулятор

В последнее время появились еще два MEMS для проекционных систем – управляемая дифракционная решетка, в которой под действием поля изменяется период, а следовательно, и угол отклонения света, и интерференционный дисплей компании Iridigm, США. Оптики обратили внимание на переливчатые цвета крыльев бабочек, которые возникают из-за интерференции света на плоских микрополостях, находящихся в крыльях. Так возникла идея iMoD-дисплея (Interferometric Modulator – интерференционный модулятор). Элемент изображения представляет собой простую MEMS, состоящую из двух проводящих пластин: тонкой пленки на стеклянной подложке и подвешенной над ней металлической мембраны. Элемент iMoD имеет только два стабильных состояния. В отсутствие напряжения пластины разделены, и свет отражается от тонкой пленки на стеклянной подложке. Если же приложено небольшое напряжение, пластины притягиваются за счет электростатического взаимодействия, и свет поглощается. Окраска возникает из-за интерференции в выключенном элементе, поэтому наибольший зазор имеют красные подпикселы, а наименьший – синие. Элемент iMoD бистабилен, поэтому для удержания подвижной мембраны требуется меньше энергии, чем для ее перемещения. Будучи по своей сути пассивным дисплеем, iMoD обладает электрофизическими характеристиками активной матрицы.

Дисплеи на основе iMoD должны иметь меньшую стоимость по сравнению с LCD из-за отсутствия цветных фильтров, активно-матричных элементов (TFT LCD), поляризаторов и обработки подложек для однородного LC-слоя. Их энергопотребление примерно в 1,5 раза меньше, чем у отражательных LCD на основе супертвист-эффекта, и в 6...7 раз меньше, чем у отражательных TFT LCD.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКЦИОННЫХ СИСТЕМ

Одной из важнейших характеристик проектора является яркость, определяющая работоспособность устройства в помещении с определенной освещенностью. Проекторы с небольшим световым потоком, например ТВ-приемники с просветными экранами,

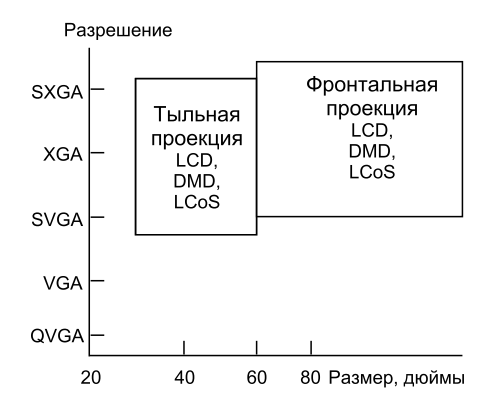


Рис. 7. Распределение проекционных дисплеев по разрешению и размеру изображения. LCD – жидкокристаллические дисплеи, DMD – цифровые микрозеркальные дисплеи

могут создавать приемлемое по яркости изображение лишь в специально затемненной комнате, тогда как другие устройства могут использоваться даже при непрямом солнечном освещении. В документации проектора световой поток указывается в ANSI-люменах и вычисляется по освещенности белого прямоугольника в центре черного поля. Информация об освещенности, измеряемой в люксах, дает неверное представление о реальных возможностях проектора, если неизвестен размер изображения, при котором она была определена. Этим пользуются некоторые производители, указывая значения освещенности в люксах или яркости в канделах на квадратный метр вместо светового потока.

Одним из наиболее динамичных сегментов рынка проекционных устройств являются портативные проекторы. Они способны проецировать изображение с разрешением XGA (1024 × 768) и SXGA (1280 × 1024) до 12 часов в сутки. Для круглосуточной работы в настоящее время используются трехлучевые проекторы, проекторы с цифровой обработкой света или светоклапанные проекторы. Большинство малогабаритных устройств способны работать как на отражающий, так и на просветный экраны. В недалеком будущем они будут снабжены беспроводными интерфейсами, что существенно расширит их мультимедийные возможности.

Таблица 1. Относительные оценки различных технологий

Параметр	Технология			
	CRT	TFT LCD	DLP	ILA
Яркость	6	8	9	8
Однородность яркости	8	6	8	7
Разрешение	7	7	7	9
Уровень черного цвета	9	2	3	3
Динамическое разрешение	8	2	6	7
Отсутствие дефектов	9	6	3	6
Равномерность и согласованность цвета	9	3	7	6
Время жизни	5	8	8	5
Возможность производства в большом количестве	2	9	7	1
Возможность дальнейшего развития	3	5	7	8

Распределение различных конструкций проекционных дисплеев по весу и излучаемому световому потоку, а также по разрешающей способности и размеру получаемого изображения с учетом их возможного применения иллюстрируется на рис. 6 и 7. Для самых больших помещений, например, кон-цертных залов, где требуется высокое значение светового потока, наилучшими оказываются микрозеркальные или жидкокристаллические системы с тремя панелями (для формирования цветного изображения). Их цена может составлять $50 000 и выше. Тыльные CRT-проекторы не обеспечивают высокой яркости изображения. Для командно-штабных пунктов распространены видеостены с тыльными LCD- и DLP-проекторами, а на рынке малогабаритных устройств доминируют DLP- и LCD- устройства с разрешением SVGA (800 × 600) и XGA (1024 × 768). При одном и том же разрешении больший размер изображения обеспечивают устройства с фронтальной проекцией.

Различные технологии, используемые при создании проекторов, сравниваются в табл. 1. Каждому рассматриваемому параметру присваивается балл от 1 до 10. Видно, что, хотя проекторы на основе CRT имеют по ряду параметров неплохие характеристики, перспектива принадлежит светоклапанным модуляторам на основе LCD и MEMS. Технические характеристики некоторых серийных видеопроекторов с различным световым потоком и разрешением приведены в табл. 2.

РЫНОК ПРОЕКЦИОННЫХ СИСТЕМ

В последнее время все возрастающую конкуренцию проекционным технологиям составляют плазменные дисплеи. Большая яркость и размер экрана позволяют использовать их в небольших конференц-залах и домашних кинотеатрах. Снижение цен на плазменные панели делает последние все более привлекательными для рядового потребителя, но их стоимость все еще остается достаточно высокой, поэтому непосредственной угрозы сбыту проекторов они не представляют.

Российский рынок проекционной техники пока не слишком велик. По данным исследовательской компании DTC, в 2002 году его объем составил менее 10 тыс. штук. Однако он растет довольно быстрыми темпами – 25% за прошедший год. По прогнозам той же компании, потребление проекторов в России в 2004 году составит 14,5 тыс. штук.

На рынке проекторов прямого проецирования на отражающий экран пока доминируют LCD-проекторы, но DLP-проекторы активно проникают в этот сегмент. На российском рынке DLP-технология пока не столь заметна, как на мировом, ее продажи составляют менее 20%. Согласно некоторым прогнозам, уже в текущем году отечественный рынок столкнется с

Таблица 2. Технические характеристики некоторых зарубежных проекторов

Компания	**Sharp**	**Sharp**	**Dream Vision**	**Vidikron of America**	**JVC**	**Hughes-JVC**	**Fujitsu General America**	**Sony**
Модель	XV-N1500	XV-Z1U	Movie Star Plus	Sole 1	DLA-G15	G1500	LPF-8200	VPL-CS1
Технология	LCD	LCD	DLP	DLP	ILA	ILA	LCoS	LCoS
Разрешение	1024 × 768	644 × 484	1024 × 768	1024 × 768	1920 × 1280		1024 × 768	600
Световой поток, ANSI-лм	2200	350	1100		1500	1500	2300	3300
Источник света		Металл-галогенная лампа	Лампа сверхвысо-кого давления			Ксеноновая лампа		Лампа сверхвысо-кого давления
Мощность, Вт	270	240	150			420		120
Габариты, см	26 × 13 × 36		32,5 × 13 × 22,8	23,7 × 13,3 × 33,6			40 × 20,5 × 48,3	28 × 7 × 21
Масса, кг	13,2		4,9	5,25			17,7	3,2

общемировой тенденцией – ростом доли DLP-проекторов, вследствие чего их доля в общем числе продаж превысит 25%.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Ремонтировать проекционные устройства и просто, и сложно. В домашних условиях вполне возможно заменить лампу, срок службы которой, как правило, не превышает 2500 часов. Для большинства видеостен источником света являются лампы сверхвысокого давления мощностью 150...200 Вт, имеющие срок эксплуатации до 50 000 часов. Если же вышел из строя модуль, формирующий изображение, то заменить надо весь оптический узел, в состав которого входят и оптические призмы, и встроенный объектив. Лучше всего, если с компанией-продавцом заключено соглашение о послегарантийном обслуживании изделия, тогда замена оптического узла обойдется дешевле. В проекционных телевизорах на основе CRT после транспортировки проектора или замены кинескопов необходимо выполнить большой объем работ по сведению и настройке геометрии изображения.